

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-095095

(43)Date of publication of application : 09.04.1999

(51)Int.CI.

G02B 13/24

G03F 7/20

H01L 21/027

(21)Application number : 09-276499

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 22.09.1997

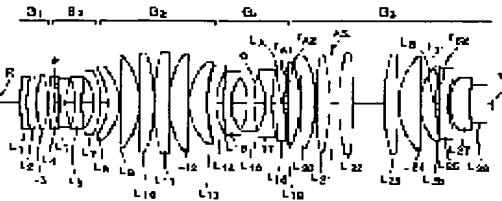
(72)Inventor : TAKAHASHI YUUTO

## (54) PROJECTION OPTICAL SYSTEM

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a projection optical system which is provided with a large numerical apertures and sufficiently small maximum effective diameter for an optical system.

**SOLUTION:** A projection optical system, by which an image on a first face R is projected to a second face W, is constructed of a positively refractive first lens group G1 including two or more positive lenses, a negatively refractive second lens group G2 including two or more negative lenses, a positively refractive third lens group G3 including three or more positive lenses, a negatively refractive fourth lens group G4 including two or more negative lenses, and a positively refractive fifth lens group G5 including at least six or more continuous positive lenses, and these lens groups are arranged in this order from the first face R side. A single aspherical face \* is provided in the fourth lens group G4 or in the fifth lens group G5, while an aperture diaphragm AS is provided inside the fifth lens group G5. A negatively refractive first air lens LA is arranged in a divergent light part just in front of the aperture diaphragm AS. In the first air lens LA, a radius of curvature rA1 of a lens face on the first face side is positive, while a negatively refractive second air lens LB is arranged in a convergent light part on the rear side of the aperture diaphragm AS.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C) 1998,2000 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-95095

(13)公開日 平成11年(1999)4月9日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>  
G 0 2 B 13/24  
G 0 3 F 7/20  
H 0 1 L 21/027

識別記号

5 2 1

F I  
G 0 2 B 13/24  
G 0 3 F 7/20  
H 0 1 L 21/30

5 2 1

5 1 5 D

審査請求 未請求 請求項の数3 FD (全 11 頁)

(21)出願番号 特願平9-276499

(22)出願日 平成9年(1997)9月22日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 高橋 友刀

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

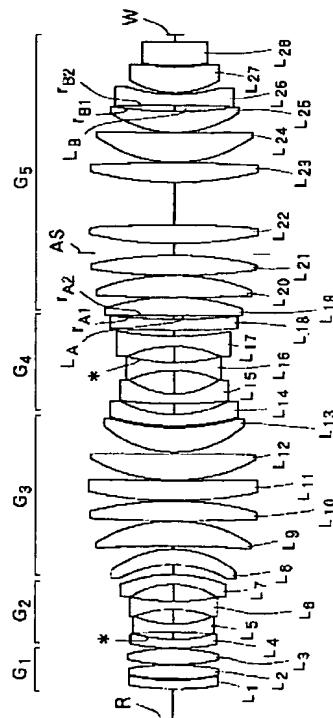
(74)代理人 弁理士 猪熊 克彦

(54)【発明の名称】 投影光学系

(57)【要約】

【課題】大きな開口数を有し、しかも光学系の最大有効径が十分に小さい投影光学系を提供する。

【解決手段】第1面Rの像を第2面Wに投影する投影光学系において、第1面R側から順に、2枚以上の正レンズを含む正屈折力の第1レンズ群G<sub>1</sub>と、2枚以上の負レンズを含む負屈折力の第2レンズ群G<sub>2</sub>と、3枚以上の正レンズを含む正屈折力の第3レンズ群G<sub>3</sub>と、2枚以上の負レンズを含む負屈折力の第4レンズ群G<sub>4</sub>と、連続した少なくとも6枚以上の正レンズを含む正屈折力の第5レンズ群G<sub>5</sub>とで構成され、第4レンズ群G<sub>4</sub>又は第5レンズ群G<sub>5</sub>に1面の非球面\*を有し、第5レンズ群G<sub>5</sub>の内部に開口絞りA Sを有し、開口絞りA Sの直前の発散光の部分に負屈折力の第1の空気レンズL<sub>A</sub>を有し、第1の空気レンズL<sub>A</sub>の第1面側のレンズ面の曲率半径r<sub>A1</sub>が正であり、開口絞りA Sの後側の収れん光の部分に負屈折力の第2の空気レンズL<sub>B</sub>を有する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】第1面の像を第2面に投影する投影光学系において、

前記第1面側から第2面側に向けて順に、2枚以上の正レンズを含む正屈折力の第1レンズ群と、2枚以上の負レンズを含む負屈折力の第2レンズ群と、3枚以上の正レンズを含む正屈折力の第3レンズ群と、2枚以上の負レンズを含む負屈折力の第4レンズ群と、連続した少なくとも6枚以上の正レンズを含む正屈折力の第5レンズ群とで構成され、

前記第4レンズ群と第5レンズ群とのいずれか一方に1面の非球面を有し、

前記第5レンズ群の内部に開口絞りを有し、

該開口絞りの直前において光束が発散している部分に負屈折力の第1の空気レンズを有し、該第1の空気レンズの前記第1面側のレンズ面の曲率半径が正であり、前記開口絞りの後側において光束が収れんしている部分に負屈折力の第2の空気レンズを有することを特徴とする投影光学系。

【請求項2】以下の条件を満たすことを特徴とする請求項1記載の投影光学系。

- (1)  $0.1 < D/L < 0.3$
- (2)  $|P_A - P_B| \times L < 1.0$
- (3)  $0.2 < |P_A| \times L < 2.0$
- (4)  $0.2 < |P_B| \times L < 2.0$
- (5)  $0.01 < Y/L < 0.02$

但し、 $D = \tan \theta \times f_5$

$\theta = \sin^{-1} [NA/n_1]$

NA: 像側最大開口数

$n_1$ : 最終レンズ面と前記第2面との間の空間を満たす媒質の屈折率

$f_5$ : 前記第5レンズ群の焦点距離

L: 前記第1面から第2面までの距離

$P_A$ : 前記第1の空気レンズの屈折力

$P_B$ : 前記第2の空気レンズの屈折力

Y: 最大像高

である。

【請求項3】以下の条件を満たすことを特徴とする請求項1又は2記載の投影光学系。

- (6)  $NA > 0.65$
- (7)  $0.05 < f_2/f_4 < 6$
- (8)  $0.01 < f_5/L < 1.2$
- (9)  $-0.8 < f_4/L < -0.008$
- (10)  $-0.5 < f_2/L < -0.005$

但し、NA: 像側最大開口数

$f_2$ : 前記第2レンズ群の焦点距離

$f_4$ : 前記第4レンズ群の焦点距離

$f_5$ : 前記第5レンズ群の焦点距離

L: 前記第1面から第2面までの距離  
である。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、レチクルやマスクなどの投影原版上に描かれた電子回路パターンなどのパターンを、投影ホトリソグラフィーにより、感光剤を塗布した半導体ウエハやガラスプレートなどの感光基板上に転写する際に用いられる、投影光学系に関するものである。

## 【0002】

【発明が解決しようとする課題】近年、ICやLSI等の集積回路や液晶等のフラットディスプレー等に、必要なパターンを転写する際、投影露光法による方法がかなり一般的に行なわれている。特に半導体の集積回路の製造や、半導体チップの実装基板の製造では、そのパターンはますます微細化してきており、また液晶用フラットディスプレー等には、より投影面積の広いものが要求されてきている。このため、これらのパターンを焼き付ける露光装置、特に投影光学系には、より解像力の高いもの、より露光面積の広いものが要求されてきている。

【0003】しかし、従来より用いられる露光装置の投影光学系には、高い解像力と広い露光領域との双方を十分に満足するものはなかった。すなわち高い解像力を得るためにには、光学系の開口数を大きくする必要があり、必然的にレンズ径が大きくなる。同様に広い露光領域を得るためにには、平面の物体を平面に投影する関係上、やはりレンズ径が大きくなってしまう。しかるにレンズ径が大きくなると、レンズの硝材も大径のものが必要となるが、材料の均質性等の観点から、現状よりも大径の硝材を製造することは困難なものとなっている。またガラス材料を研磨する工程でも、レンズ径の大型化は困難を来たし、現状よりも大径のレンズの研磨は不可能なものとなっている。このような情勢の中で、開口数を大きく取りながら、しかも光学系の最大有効径を小さくまとめることは、以前からの懸案事項となっていた。したがつて本発明は、大きな開口数を有し、しかも光学系の最大有効径が十分に小さい投影光学系を提供することを課題とする。

## 【0004】

【課題を解決するための手段】本発明は上記課題を解決するためになされたものであり、すなわち、第1面の像を第2面に投影する投影光学系において、第1面側から第2面側に向けて順に、2枚以上の正レンズを含む正屈折力の第1レンズ群G<sub>1</sub>と、2枚以上の負レンズを含む負屈折力の第2レンズ群G<sub>2</sub>と、3枚以上の正レンズを含む正屈折力の第3レンズ群G<sub>3</sub>と、2枚以上の負レンズを含む負屈折力の第4レンズ群G<sub>4</sub>と、連続した少なくとも6枚以上の正レンズを含む正屈折力の第5レンズ群G<sub>5</sub>とで構成され、第4レンズ群G<sub>4</sub>と第5レンズ群G<sub>5</sub>とのいずれか一方に1面の非球面を有し、第5レンズ群G<sub>5</sub>の内部に開口絞りを有し、開口絞りの直前におい

て光束が発散している部分に負屈折力の第1の空気レンズ $L_A$ を有し、第1の空気レンズ $L_A$ の第1面側のレンズ面の曲率半径 $r_{A1}$ が正であり、開口絞りの後側において光束が收れんしている部分に負屈折力の第2の空気レンズ $L_B$ を有することを特徴とする投影光学系である。

【0005】本発明の投影光学系では、まず開口数の増大に伴って発生する球面収差を補正するために、非球面を導入している。この非球面は、主に球面収差が発生する場所に適用すべきであり、しかも球面収差を補正しやすい場所に適用することがより自然である。したがって開口絞りの近傍に非球面を適用すべきこととなる。本発明では第5レンズ群 $G_5$ の中に開口絞りを設けているから、この開口絞りを内部に有する第5レンズ群 $G_5$ に非球面を適用するか、あるいは開口絞りに近い第4レンズ群 $G_4$ に非球面を適用すべきこととなる。ただし、非球面のレンズ面が大型化しないように、光束の収束する場所に適用することがより好ましい。したがって以下の第1、第2実施例では、第4レンズ群 $G_4$ の中の一面を選んで非球面としている。

【0006】次に、非球面を1面用いることにより、球面収差は補正することが出来るが、そのほかに、開口数の増大に伴って生じる他の収差も補正する必要がある。投影光学系は開口数も高いが、フィールドサイズも大きく、画面周辺の収差がより大きく発生する。特に画面周辺のコマ収差が、開口数の増大によってより大きく発生してくる。さらに、画角の増加（すなわち像高の増加）に伴い、その発生量が異なるのが普通であり、これをコマ収差の画角変動成分と呼んでいる。このコマ収差の画角変動成分を除去するためには、より複雑な補正をしなければならないが、上コマと下コマとをそれぞれ補正するためには、一般には更に少なくとも2面の非球面が必要となる。しかし、そう非球面を多数適用することはコストアップを招き得策ではない。そこで本発明では、このコマ収差の画角変動成分を球面によって補正している。その手法は次の通りである。

【0007】およそ光学系は、光線が各レンズ面に入斜する角度をなるべく小さくした方が、収差の発生が少なくなり、かつ公差等も緩くなり、適切なものである。特に投影光学系等の極限の性能を追及する光学系においては、その傾向が強い。ところが本発明では、逆に入斜角が大きくなるように光線に逆らう面を設けている。これが第1の空気レンズ $L_A$ の第1面側のレンズ面 $r_{A1}$ と、第2の空気レンズ $L_B$ の第2面側のレンズ面 $r_{B2}$ である。このような空気レンズ $L_A$ 、 $L_B$ を開口絞りを挟んで両側に、すなわち光束が発散する部分と光束が收れんする部分に設けているから、上コマと下コマの画角変動成分を補正することができる。

【0008】また、このような光線に逆らう向きの面においては、かなりの量の収差が発生するものであるが、その前後に存在する曲率が近い曲面、すなわち第1の空

気レンズ $L_A$ の第2面側のレンズ面 $r_{A2}$ と、第2の空気レンズ $L_B$ の第1面側のレンズ面 $r_{B1}$ によって逆の収差を発生させ、その差引によって高次収差を補正しているのである。以上の処置により、コマの画角変動成分が補正されるため、結果的に、レンズの最大有効径を縮小させることが可能となった。

【0009】次に、本発明においては、

- (1)  $0.1 < D/L < 0.3$
- (2)  $|P_A - P_B| \times L < 1.0$
- (3)  $0.2 < |P_A| \times L < 2.0$
- (4)  $0.2 < |P_B| \times L < 2.0$
- (5)  $0.01 < Y/L < 0.02$

なる条件を満たすことが好ましい。但し、

$$D = \tan \theta \times f_5$$

$$\theta = \sin^{-1} [NA/n_1]$$

NA：像側最大開口数

$n_1$ ：最終レンズ面と第2面との間の空間を満たす媒質の屈折率

$f_5$ ：第5レンズ群の焦点距離

L：第1面から第2面までの距離

$P_A$ ：第1の空気レンズ $L_A$ の屈折力

$P_B$ ：第2の空気レンズ $L_B$ の屈折力

Y：最大像高

である。

【0010】条件式（1）中、Dはほぼレンズの最大有効径を与えるから、条件式（1）は、最大有効径の適切な範囲を、第1面から第2面までの距離Lを基準として規定していることとなる。条件式（1）の下限を越えると、最大有効径が小さくなるが、十分に大きな開口数が得られなくなる。逆に条件式（1）の上限を越えると、最大有効径が過度に大きくなり、硝材の増大を招いてコスト高となる。

【0011】条件式（2）は、第1の空気レンズの屈折力 $P_A$ と第2の空気レンズの屈折力 $P_B$ との差を、第1面から第2面までの距離Lを基準として規定したものである。条件式（2）の上限を越えると、両空気レンズの屈折力に差がありすぎるために、上コマと下コマの画角変動成分を同時に補正しきれなくなる。なお、第1及び第2の空気レンズの屈折力 $P_A$ 、 $P_B$ は、次のように定義される。

$$P_A \equiv (n_{A1} - 1) / r_{A1} + (1 - n_{A2}) / r_{A2}$$

$$P_B \equiv (n_{B1} - 1) / r_{B1} + (1 - n_{B2}) / r_{B2}$$

$n_{A1}$ ：第1の空気レンズ $L_A$ の第1面側媒質の屈折率

$r_{A1}$ ：第1の空気レンズ $L_A$ の第1面側の曲率半径

$n_{A2}$ ：第1の空気レンズ $L_A$ の第2面側媒質の屈折率

$r_{A2}$ ：第1の空気レンズ $L_A$ の第2面側の曲率半径

$n_{B1}$ ：第2の空気レンズ $L_B$ の第1面側媒質の屈折率

$r_{B1}$ ：第2の空気レンズ $L_B$ の第1面側の曲率半径

$n_{B2}$ ：第2の空気レンズ $L_B$ の第2面側媒質の屈折率

$r_{B2}$ ：第2の空気レンズ $L_B$ の第2面側の曲率半径

【0012】条件式(3)と(4)は、それぞれ第1及び第2の空気レンズの屈折力 $P_A$ 、 $P_B$ を、第1面から第2面までの距離 $L$ を基準として規定したものである。条件式(3)又は(4)の下限を越えると、上コマ又は下コマの画角変動成分を十分に補正できなくなる。逆に条件式(3)又は(4)の上限を越えると、第1又は第2の空気レンズの入射側と射出側のレンズ面の曲率差が大きすぎるために、高次の収差を十分には補正できなくなる。

【0013】条件式(5)は、第1面から第2面までの距離 $L$ を基準として、適切な画面サイズを規定したものである。条件式(5)の下限を越えると、画面サイズが小さい割りに径の大きなレンズとなり好ましくない。逆に条件式(5)の上限を越えると、画面サイズが大きくなりすぎて、収差補正が困難となる。

【0014】また本発明においては、

(6)  $NA > 0.65$

(7)  $0.05 < f_2/f_4 < 6$

(8)  $0.01 < f_5/L < 1.2$

(9)  $-0.8 < f_4/L < -0.008$

(10)  $-0.5 < f_2/L < -0.005$

なる条件を満たすことが好ましい。但し、

$NA$ ：像側最大開口数

$f_2$ ：第2レンズ群の焦点距離

$f_4$ ：第4レンズ群の焦点距離

$f_5$ ：第5レンズ群の焦点距離

$L$ ：第1面から第2面までの距離

である。

【0015】条件式(6)は、像側最大開口数 $NA$ の適切な範囲を規定するものである。本発明はレンズの有効径が小さくとも、大きな開口数が得られる投影光学系を提供するものである。したがって条件式(6)の下限を越えると、本発明による効果を十分に享受することができなくなる。

【0016】条件式(7)は、負屈折力の第4レンズ群 $G_4$ と負屈折力の第2レンズ群 $G_2$ との屈折力比の適切な範囲を規定したものであり、主にペツツバール和を0に近づけることにより、広い露光領域を確保しつつ像面湾曲を良好に補正するためのものである。条件式(7)の下限を越えると、第4レンズ群 $G_4$ の屈折力が第2レンズ群 $G_2$ の屈折力に対して相対的に弱くなるため、正のペツツバール和が大きく発生して好ましくない。逆に条件式(7)の上限を越えると、第2レンズ群 $G_2$ の屈折力が第4レンズ群 $G_4$ の屈折力に対して相対的に弱くなるため、正のペツツバール和が大きく発生して好ましくない。

【0017】条件式(8)は、正屈折力の第5レンズ群 $G_5$ の屈折力の適切な範囲を規定したものであり、大きな開口数を保ちながら、球面収差、歪曲収差及びペツツバール和をバランス良く補正するためのものである。条件式(8)の下限を越えると、第5レンズ群 $G_5$ の屈折力が大きくなりすぎ、第5レンズ群 $G_5$ にて負の歪曲収差のみならず負の球面収差が甚大に発生するようになり、好ましくない。逆に条件式(8)の上限を越えると、第5レンズ群 $G_5$ の屈折力が弱くなりすぎ、これに伴って負の屈折力の第4レンズ群 $G_4$ の屈折力も必然的に弱くなり、この結果、ペツツバール和を良好に補正することができない。

【0018】条件式(9)は、負屈折力の第4レンズ群 $G_4$ の屈折力の適切な範囲を規定したものである。条件式(9)の下限を越えると、球面収差の補正が困難となるため好ましくない。逆に条件式(9)の上限を越えると、コマ収差が発生するため好ましくない。なお、球面収差及びペツツバール和を良好に補正するためには、条件式(9)の下限値を-0.078とすることが好ましく、更にコマ収差の発生を抑えるためには、条件式(9)の上限値を-0.047とすることが好ましい。

【0019】条件式(10)は、負屈折力の第2レンズ群 $G_2$ の屈折力の適切な範囲を規定したものである。条件式(10)の下限を越えると、ペツツバール和が正の大きな値になるため好ましくない。逆に条件式(10)の上限を越えると、負の歪曲収差が発生するため好ましくない。なお、ペツツバール和を更に良好に補正するためには、条件式(10)の下限値を-0.16とすることが好ましく、負の歪曲収差とコマ収差を更に良好に補正するためには、条件式(10)の上限値を-0.071とすることが好ましい。

【0020】次に、本発明においては、第5レンズ群 $G_5$ 中に少なくとも1枚の負レンズを配置することが好ましく、この構成により、歪曲収差を良好に補正することができる。また、負屈折力の第4レンズ群 $G_4$ 中に、互いに向き合った凹面のレンズ面を少なくとも2組配置することが好ましい。この構成により、光線を緩やかに曲げができるから、特に球面収差の発生を抑制することができる。同様に、負屈折力の第2レンズ群 $G_2$ 中に、互いに向き合った凹面のレンズ面を少なくとも2組配置することが好ましい。この構成により、光線を緩やかに曲げができるから、特に軸外の収差の発生を抑制することができる。同様に、正屈折力の第5レンズ群 $G_5$ 中に、互いに向き合った凸面のレンズ面を少なくとも1組配置することが好ましい。この構成により、光線を緩やかに曲げができるから、特に球面収差の発生を抑制することができる。同様に、正屈折力の第3レンズ群 $G_3$ 中に、互いに向き合った凸面のレンズ面を少なくとも1組配置することが好ましい。この構成により、光線を緩やかに曲げができるから、特に軸外の収差の発生を抑制することができる。

【0021】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態を図面によつて説明する。図1と図4は、それぞれ本発明による投影

光学系の第1実施例と第2実施例を示す。両各実施例の投影光学系とも、レチクルR上のパターンを縮小倍率にてウエハW上に投影露光するものであり、レチクルR側からウエハW側に向けて順に、正屈折力の第1レンズ群G<sub>1</sub>と、負屈折力の第2レンズ群G<sub>2</sub>と、正屈折力の第3レンズ群G<sub>3</sub>と、負屈折力の第4レンズ群G<sub>4</sub>と、正屈折力の第5レンズ群G<sub>5</sub>とで構成されている。また、図中\*印は非球面レンズ面を表す。

【0022】両実施例とも、1/4倍の倍率を持つ投影光学系であり、像側の開口数NAは0.75、最大物体高は52.8mmであり、これはレチクルRのサイズとして、74.5×74.5mm、または90×55mm等の面積を露光することができる。すべての光学ガラスは溶融石英であり、第1実施例では全28枚、第2実施例では全29枚のレンズを使用し、紫外線エキシマレーザーの248.4nmの単色波長における球面収差、コマ収差、非点収差、ディストーションを良好に補正し、優れた性能の光学系を提供している。第1実施例のレンズの最大有効径は約250mmであり、物体像間距離Lは1148mmであり、また第2実施例のレンズの最大有効径は約256mmであり、物体像間距離Lは1167mmである。このように両実施例とも、非常に小型の光学系を達成することができたものである。

【0023】第1実施例の第1レンズ群G<sub>1</sub>は、レチクルR側に凸面を向けたメニスカスレンズL<sub>1</sub>と、2枚の両凸レンズL<sub>2</sub>、L<sub>3</sub>からなる。第2レンズ群G<sub>2</sub>は、レチクルR側に凸面を向けたメニスカスレンズL<sub>4</sub>と、2枚の両凹レンズL<sub>5</sub>、L<sub>6</sub>と、ウエハW側に凸面を向けたメニスカスレンズL<sub>7</sub>からなる。レンズL<sub>4</sub>のウエハW側レンズ面は非球面である。第3レンズ群G<sub>3</sub>は、ウエハW側に凸面を向けた2枚のメニスカス正レンズL<sub>8</sub>、L<sub>9</sub>と、両凸レンズL<sub>10</sub>と、レチクルR側に凸面を向けたメニスカス正レンズL<sub>11</sub>と、両凸レンズL<sub>12</sub>と、レチクルR側に凸面を向けたメニスカス正レンズL<sub>13</sub>からなる。第4レンズ群G<sub>4</sub>は、レチクルR側に凸面を向けた2枚のメニスカス負レンズL<sub>14</sub>、L<sub>15</sub>と、2枚の両凹レンズL<sub>16</sub>、L<sub>17</sub>と、レチクルR側に凸面を向けたメニスカスレンズL<sub>18</sub>からなる。レンズL<sub>16</sub>のウエハW側レンズ面は非球面である。第5レンズ群G<sub>5</sub>は、ウエハW側に凸面を向けたメニスカス正レンズL<sub>19</sub>と、4枚の両凸レンズL<sub>20</sub>、L<sub>21</sub>、L<sub>22</sub>、L<sub>23</sub>と、レチクルR側に凸面を向

$$z(y) = \frac{y^2/r}{1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa)y^2/r^2}} + Ay^4 + By^6 + Cy^8 + Dy^{10}$$

y : 光軸からの高さ

z : 接平面から非球面までの光軸方向の距離

r : 頂点曲率半径

$\kappa$  : 円錐係数

A, B, C, D : 非球面係数

によって表わしており、[非球面データ]に円錐係数 $\kappa$

けた2枚のメニスカス正レンズL<sub>24</sub>、L<sub>25</sub>と、両凹レンズL<sub>26</sub>と、レチクルR側に凸面を向けた2枚のメニスカス正レンズL<sub>27</sub>、L<sub>28</sub>からなる。したがってレンズL<sub>19</sub>～L<sub>25</sub>が連續した7枚の正レンズとなっている。また開口絞りASは、第5レンズ群G<sub>5</sub>内のレンズL<sub>21</sub>とL<sub>22</sub>の間に配置されている。本実施例では、レンズL<sub>18</sub>とL<sub>19</sub>の間隔が第1の空気レンズL<sub>A</sub>となっており、レンズL<sub>25</sub>とL<sub>26</sub>の間隔が第2の空気レンズL<sub>B</sub>となっている。

【0024】第2実施例の第1レンズ群G<sub>1</sub>は、両凹レンズL<sub>1</sub>と、3枚の両凸レンズL<sub>2</sub>、L<sub>3</sub>、L<sub>4</sub>からなる。第2レンズ群G<sub>2</sub>は、レチクルR側に凸面を向けたメニスカスレンズL<sub>5</sub>と、2枚の両凹レンズL<sub>6</sub>、L<sub>7</sub>と、ウエハW側に凸面を向けたメニスカスレンズL<sub>8</sub>からなる。第3レンズ群G<sub>3</sub>は、ウエハW側に凸面を向けた2枚のメニスカスレンズL<sub>9</sub>、L<sub>10</sub>と、2枚の両凸レンズL<sub>11</sub>、L<sub>12</sub>と、レチクルR側に凸面を向けた2枚のメニスカス正レンズL<sub>13</sub>、L<sub>14</sub>からなる。第4レンズ群G<sub>4</sub>は、レチクルR側に凸面を向けた2枚のメニスカスレンズL<sub>15</sub>、L<sub>16</sub>と、両凹レンズL<sub>17</sub>と、ウエハW側に凸面を向けたメニスカスレンズL<sub>18</sub>と、両凹レンズL<sub>19</sub>からなる。レンズL<sub>17</sub>のウエハW側レンズ面は非球面である。第5レンズ群G<sub>5</sub>は、両凸レンズL<sub>20</sub>と、ウエハW側に凸面を向けたメニスカス正レンズL<sub>21</sub>と、4枚の両凸レンズL<sub>22</sub>、L<sub>23</sub>、L<sub>24</sub>、L<sub>25</sub>と、レチクルR側に凸面を向けたメニスカス正レンズL<sub>26</sub>と、両凹レンズL<sub>27</sub>と、レチクルR側に凸面を向けた2枚のメニスカス正レンズL<sub>28</sub>、L<sub>29</sub>からなる。したがってレンズL<sub>20</sub>～L<sub>26</sub>が連續した7枚の正レンズとなっている。また開口絞りASは、第5レンズ群G<sub>5</sub>内のレンズL<sub>21</sub>とL<sub>22</sub>の間に配置されている。本実施例では、レンズL<sub>19</sub>とL<sub>20</sub>の間隔が第1の空気レンズL<sub>A</sub>となっており、レンズL<sub>26</sub>とL<sub>27</sub>の間隔が第2の空気レンズL<sub>B</sub>となっている。

【0025】以下の表1と表2に、それぞれ第1、第2実施例の諸元を示す。両表の[レンズ諸元]中、第1欄NoはレチクルR側からの各レンズ面の番号、第2欄rは各レンズ面の曲率半径、第3欄dは各レンズ面から次のレンズ面までの間隔、第4欄は各レンズの番号とレンズ群の番号を示す。また第1欄中\*印を付したレンズ面は非球面を示し、非球面レンズ面についての第2欄rは、頂点曲率半径である。非球面の形状は、

$$z(y) = \frac{y^2/r}{1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa)y^2/r^2}} + Ay^4 + By^6 + Cy^8 + Dy^{10}$$

と非球面係数A、B、C、Dを示した。

【0026】第1実施例、第2実施例とも、すべてのレンズの硝材は合成石英であり、合成石英の屈折率はn=1.50839である。またレンズの設計波長は、λ=248.4nmである。また、以下の表3に、第1、第2実施例について、条件式(1)～(10)中のパラ

メータの値を示す。

【表 1】

【0027】

[レンズ諸元]

N o	r	d	
0	$\infty$	53.511517	R
1	424.57965	14.000000	L <sub>1</sub> G <sub>1</sub>
2	276.57711	3.070692	
3	376.88702	22.426998	L <sub>2</sub> G <sub>1</sub>
4	-388.71851	0.501110	
5	295.50751	27.657694	L <sub>3</sub> G <sub>1</sub>
6	-254.24538	0.500000	
7	358.54914	14.000000	L <sub>4</sub> G <sub>2</sub>
* 8	195.82711	12.647245	
9	-639.41262	13.000000	L <sub>5</sub> G <sub>2</sub>
10	150.39696	24.664558	
11	-144.69206	13.500000	L <sub>6</sub> G <sub>2</sub>
12	322.10513	28.955373	
13	-109.83313	16.000000	L <sub>7</sub> G <sub>2</sub>
14	-207.92900	15.959652	
15	-160.80348	26.000000	L <sub>8</sub> G <sub>3</sub>
16	-141.44401	5.067636	
17	-1685.98156	41.213135	L <sub>9</sub> G <sub>3</sub>
18	-211.20833	0.774762	
19	2440.61849	33.000000	L <sub>10</sub> G <sub>3</sub>
20	-448.06815	0.500000	
21	564.27683	33.000000	L <sub>11</sub> G <sub>3</sub>
22	5923.72721	0.500000	
23	243.35532	44.114198	L <sub>12</sub> G <sub>3</sub>
24	-21708.35359	3.000000	
25	153.14351	40.732633	L <sub>13</sub> G <sub>3</sub>
26	319.85990	3.000000	
27	339.65899	19.000000	L <sub>14</sub> G <sub>4</sub>
28	157.46424	18.907281	
29	743.92557	16.000000	L <sub>15</sub> G <sub>4</sub>
30	112.50731	38.722843	
31	-161.32909	14.000000	L <sub>16</sub> G <sub>4</sub>
* 32	281.95994	26.642118	
33	-160.27838	17.000000	L <sub>17</sub> G <sub>4</sub>
34	449.56755	10.306295	
35	1951.49846	19.000000	L <sub>18</sub> G <sub>4</sub>
36	877.78564	6.606143	L <sub>A</sub>
37	-9151.87550	29.645235	L <sub>19</sub> G <sub>5</sub>
38	-299.45605	0.532018	
39	3339.76762	35.747859	L <sub>20</sub> G <sub>5</sub>
40	-299.74075	0.646375	
41	822.44376	33.000000	L <sub>21</sub> G <sub>5</sub>
42	-550.76603	2.970732	
43	-	16.774949	A S
44	562.40254	31.717853	L <sub>22</sub> G <sub>5</sub>
45	-1626.95189	71.859285	

46	481.08843	33.425832	L <sub>23</sub>	G <sub>5</sub>
47	-1672.85856	0.500000		
48	188.39765	49.237219	L <sub>24</sub>	G <sub>5</sub>
49	3293.78061	0.500000		
50	158.00533	35.070956	L <sub>25</sub>	G <sub>5</sub>
51	502.57007	11.179008	L <sub>8</sub>	
52	-1621.68742	18.000000	L <sub>26</sub>	G <sub>5</sub>
53	226.39742	2.757724		
54	122.08486	43.603688	L <sub>27</sub>	G <sub>5</sub>
55	278.54937	2.018765		
56	350.99846	39.566779	L <sub>28</sub>	G <sub>5</sub>
57	5458.39044	12.000001		
58	∞			W

## [非球面データ]

N o = 8	κ = 0.0	A = -0.528194 × 10 <sup>-7</sup>	B = -0.194253 × 10 <sup>-11</sup>
		C = -0.335061 × 10 <sup>-16</sup>	D = 0.130681 × 10 <sup>-20</sup>
N o = 32	κ = 0.0	A = 0.283261 × 10 <sup>-7</sup>	B = -0.283101 × 10 <sup>-11</sup>
		C = -0.334419 × 10 <sup>-16</sup>	D = 0.469334 × 10 <sup>-20</sup>

【0028】

【表2】

## [レンズ諸元]

N o	r	d		
0	∞	44.999990	R	
1	-1076.07977	13.393500	L <sub>1</sub>	G <sub>1</sub>
2	191.74628	2.678700		
3	203.83543	30.358600	L <sub>2</sub>	G <sub>1</sub>
4	-281.63049	0.100000		
5	698.39441	22.322500	L <sub>3</sub>	G <sub>1</sub>
6	-386.51872	12.858341		
7	474.23427	25.269070	L <sub>4</sub>	G <sub>1</sub>
8	-243.56953	0.100000		
9	555.35420	13.393500	L <sub>5</sub>	G <sub>2</sub>
10	158.39107	12.669423		
11	-1459.40394	13.393500	L <sub>6</sub>	G <sub>2</sub>
12	239.04446	20.315320		
13	-131.22470	13.393500	L <sub>7</sub>	G <sub>2</sub>
14	546.91788	15.099178		
15	-176.15961	13.393500	L <sub>8</sub>	G <sub>2</sub>
16	-7754.62824	18.664763		
17	-153.15107	56.461730	L <sub>9</sub>	G <sub>3</sub>
18	-214.76152	0.089290		
19	-814.31313	43.261435	L <sub>10</sub>	G <sub>3</sub>
20	-183.40367	0.089290		
21	1470.53178	38.708260	L <sub>11</sub>	G <sub>3</sub>
22	-358.57233	0.089290		
23	643.08414	28.890312	L <sub>12</sub>	G <sub>3</sub>
24	-2416.29189	0.089290		
25	237.16282	41.777183	L <sub>13</sub>	G <sub>3</sub>
26	4606.42948	0.089290		
27	133.95397	28.708461	L <sub>14</sub>	G <sub>3</sub>
28	177.35032	7.202218		

29	237.42959	13.393500	L <sub>15</sub> G <sub>4</sub>
30	158.02115	16.613035	
31	521.11453	13.393500	L <sub>16</sub> G <sub>4</sub>
32	113.10059	41.189093	
33	-157.49963	13.393500	L <sub>17</sub> G <sub>4</sub>
*34	269.77049	23.416874	
35	-205.56228	13.393500	L <sub>18</sub> G <sub>4</sub>
36	-244.89882	5.826132	
37	-170.42662	13.393500	L <sub>19</sub> G <sub>4</sub>
38	483.35645	6.476227	L <sub>A</sub>
39	2151.04236	23.455914	L <sub>20</sub> G <sub>5</sub>
40	-779.82637	0.100000	
41	-1578.31666	31.115587	L <sub>21</sub> G <sub>5</sub>
42	-238.39783	8.929000	
43	-	7.821200	A S
44	25030.38813	31.251500	L <sub>22</sub> G <sub>5</sub>
45	-317.90570	0.100000	
46	422.49997	49.109500	L <sub>23</sub> G <sub>5</sub>
47	-818.65105	59.359471	
48	3033.59836	40.180500	L <sub>24</sub> G <sub>5</sub>
49	-813.42694	0.089290	
50	239.06328	44.645000	L <sub>25</sub> G <sub>5</sub>
51	-11506.10547	0.089290	
52	181.73186	40.297673	L <sub>26</sub> G <sub>5</sub>
53	1121.02103	8.827244	L <sub>B</sub>
54	-1156.72532	17.858000	L <sub>27</sub> G <sub>5</sub>
55	438.30163	0.100000	
56	128.66827	63.530555	L <sub>28</sub> G <sub>5</sub>
57	328.26122	2.678700	
58	305.11181	48.192777	L <sub>29</sub> G <sub>5</sub>
59	739.10052	11.137249	
60	∞		W

## [非球面データ]

$$N = 34 \quad \kappa = 0.0 \quad A = 0.331422 \times 10^{-7} \quad B = -0.283218 \times 10^{-11}$$

$$C = -0.694259 \times 10^{-16} \quad D = 0.689446 \times 10^{-20}$$

【0029】

【表3】

	第1実施例	第2実施例
(1) D/L	0.170	0.156
(2)  P <sub>A</sub> - P <sub>B</sub>   × L	0.78	0.43
(3)  P <sub>A</sub>   × L	0.716	1.52
(4)  P <sub>B</sub>   × L	1.43	1.03
(5) Y/L	0.0115	0.0113
(6) N A	0.75	0.75
(7) f <sub>2</sub> /f <sub>4</sub>	1.40	1.26
(8) f <sub>5</sub> /L	0.15	0.137
(9) f <sub>4</sub> /L	-0.044	-0.047
(10) f <sub>2</sub> /L	-0.061	-0.060

【0030】図2に第1実施例の球面収差、非点収差、歪曲収差を示し、図3に同実施例の横収差を示す。同様に図5と図6に第2実施例の諸収差を示す。各収差図

中、N Aは開口数、Yは像高を示す。非点収差図中点線はメリジオナル像面を表し、実線はサジタル像面を表す。各収差図より明らかなように、所要のレンズ構成を

取り、条件式(1)～(10)を満たすことにより、各実施例とも優れた結像性能を持つことが分かる。

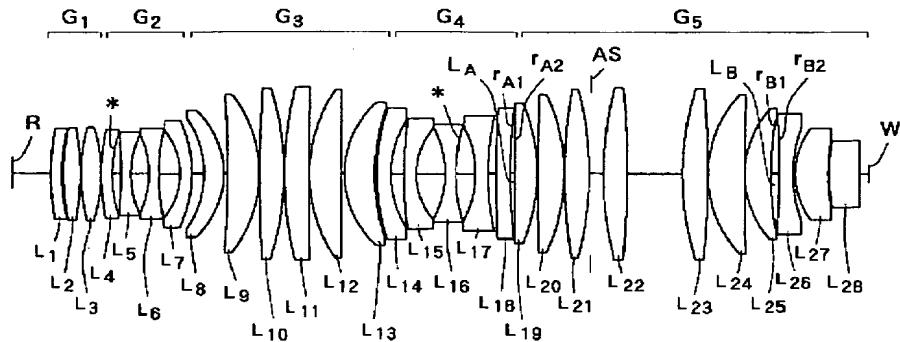
## 【0031】

【発明の効果】以上のように本発明では、開口絞りの前後に光束に逆らう面を設けているから、コマ収差の画角変動を補正することができ、レンズの有効径を縮小することができる。このように収差の発生を抑えることで、小型でありながら、高NA、広像面で良好な結像性能を達成することができる。すなわち、高い解像力と広い露光領域の両者を満足する露光用投影光学系を得ることができた。

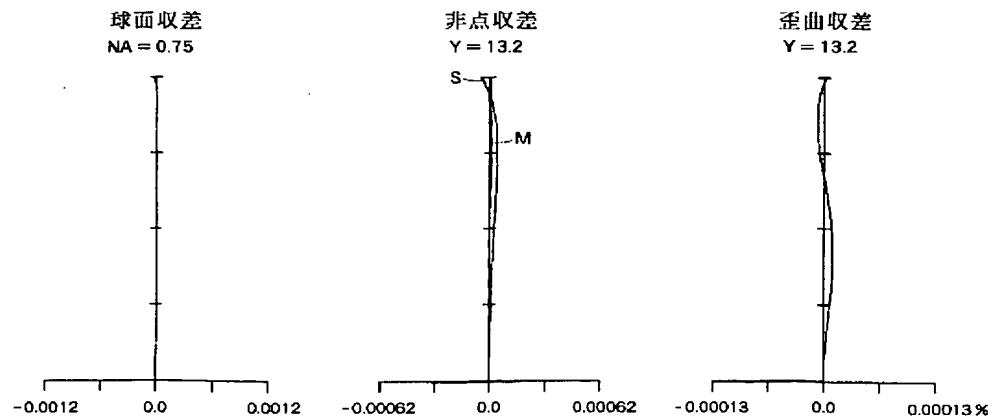
## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による投影光学系の第1実施例のレンズ構成を示す断面図

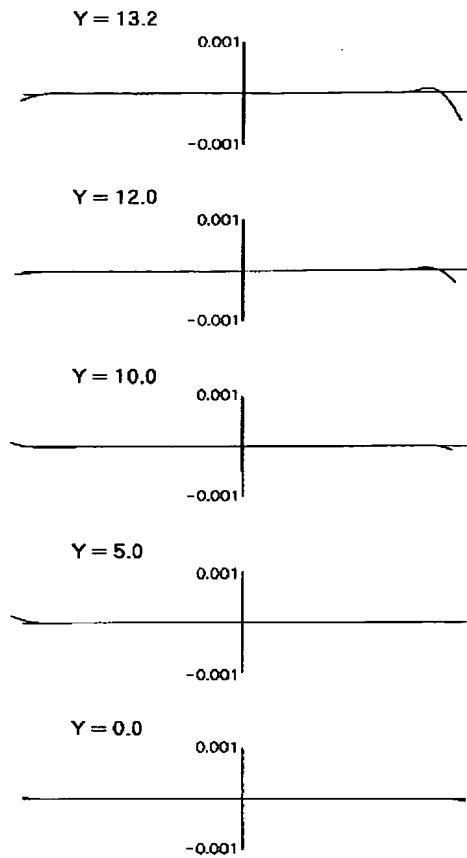
【図1】



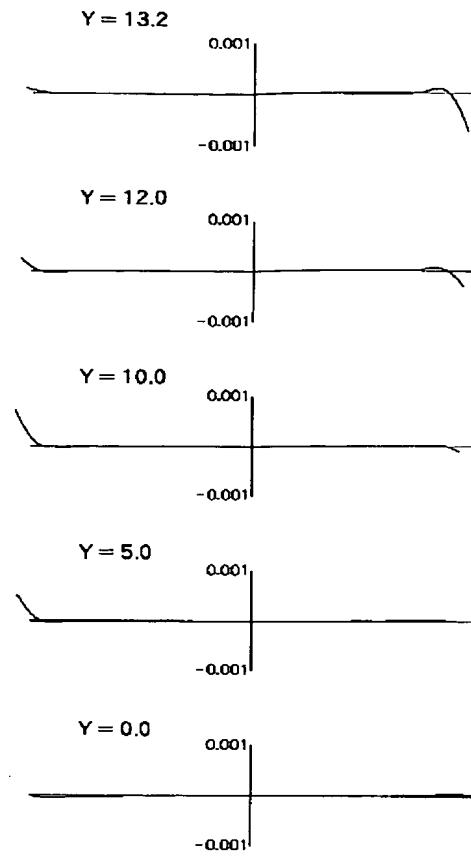
【図2】



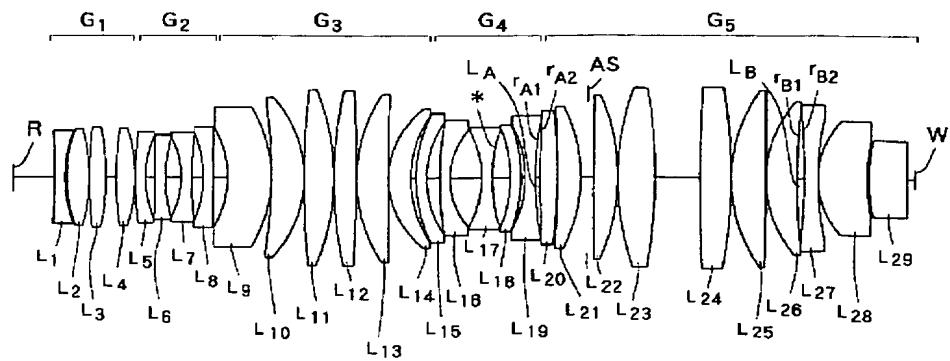
【図3】



【図6】



【図4】



【図5】

